



TITLE:

A Quantum Gas Microscope of Two-electron Atoms with Fluorescence and Faraday Imaging(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Yamamoto, Ryuta

CITATION:

Yamamoto, Ryuta. A Quantum Gas Microscope of Two-electron Atoms with Fluorescence and Faraday Imaging. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-11-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20044>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-07-21に公開

(続紙 1)

| | | | |
|--|--|----|------|
| 京都大学 | 博 士（理 学） | 氏名 | 山本隆太 |
| 論文題目 | A Quantum Gas Microscope of Two-electron Atoms with Fluorescence and Faraday Imaging（発光およびファラデーイメージングによる2電子原子の量子気体顕微鏡） | | |
| （論文内容の要旨） | | | |
| <p>近年、中性原子のレーザー冷却技術が開発され、マイクロケルビン台の極低温の原子集団を用意することが可能になり、物性、量子情報、原子時計、その他様々な研究に用いられている。さらに、ボース・アインシュタイン凝縮体やフェルミ縮退などの量子気体が生成され、その物性研究が盛んに研究されている。こうした研究では、光と原子の相互作用を駆使して、高感度に原子をプローブする方法が特に重要であり、これにより少数個の原子を観測することが可能になる。特に、近年、アルカリ原子に対して、量子気体顕微鏡という、光格子中の個々の原子を、格子点を分解して、観測および制御する技術が開発され、様々な研究に応用されている。</p> <p>このような背景のもと、本論文では、ユニークな量子シミュレーションの研究対象として、注目を集める2電子系原子のイッテルビウム原子に着目した。本論文では、この光格子に閉じ込められた2次元量子気体のイッテルビウム原子について、光格子点を分解する空間分解能で、単一原子を観測することのできる、ハバードモデルの領域での量子気体顕微鏡を開発したことを報告している。まず、イッテルビウム原子に特有の線幅の狭い光学遷移を駆使した原子の冷却について、その最適条件を慎重に決定した。これをもとに、高感度かつ高空間分解能で、単一原子からの発光を観測することに成功した。孤立点の発光分布の形状から、空間分解能を定量的に評価し、さらに、格子間隔や格子の傾きなどを決定し、それをもとに、原子の分布を決定することに成功した。2枚の画像を続けて撮像し、その比較をすることで、得られた結果の信頼性を評価することにも成功した。</p> <p>一方、上記の研究も含めて、これまでの全ての量子気体顕微鏡における観測が、共鳴光の発光を観測するという破壊的測定法であり、この加熱の効果のために、観測時に非常に深い光格子ポテンシャルを必要として、さらに、慎重に設計された冷却法が必要であった。これに対して、本論文では、共鳴光の発光を観測する方法とは異なる、新しい手法である、ファラデー量子気体顕微鏡の開発にも成功した。このファラデー顕微鏡では、非共鳴な直線偏光を原子に入射してその偏光回転を観測する。この手法を、光格子中の原子に適用した結果、単一原子による偏光回転として、約3° という大きな値を得ることに成功している。また、バックグラウンドがゼロの信号を与える、ダークフィールドファラデーイメージング法による単一原子の信号を得ることに成功し、さらに、単一原子の吸収イメージングにも成功し、単一原子による吸収として、約18%という大きな値を得ることに成功している。特にファラデーイメージングおよび、吸収イメージングでは、孤立点の発光空間分布を表す関数が、入射光との干渉項のために、大きな振動的振る舞いを示すことを、実験的に明らかにし、散</p> | | | |

乱・回折理論から導かれる結果と一致することを確認している。

この非破壊的なファラデーイメージング法の開発は、世界で初めての重要な成果である。本実験では、原子の加熱の効果を十分に抑えることが出来ていないため、完全に非破壊の領域には達していないが、今後の改良により非破壊の領域に到達することが期待される。これは、極めて高い波及効果をもたらすと考えられる。例えば、量子気体顕微鏡の開発において、観測時の冷却と非常に深いポテンシャルを実装する必要性は、高い実験的ハードルであるが、非破壊的な観測が可能になれば、その必要もなくなり、より簡便に実験が行えるだけでなく、より多くの原子種、さらには、分子にも適用範囲が広がると期待される。また、強相関量子多体系に対して、個々の量子に対する、量子非破壊測定およびその結果をもとにした量子フィードバック制御など、全く新しい可能性を開くものと期待され、大変重要な成果である。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、中性原子のレーザー冷却技術が開発され、マイクロケルビン台の極低温の原子集団を用意することが可能になり、物性、量子情報、原子時計、その他様々な研究に用いられている。さらに、ボース・アインシュタイン凝縮体やフェルミ縮退などの量子気体が生成され、その物性研究が盛んに研究されている。こうした研究では、光と原子の相互作用を駆使して、高感度に原子をプローブする方法が特に重要であり、これにより少数個の原子を観測することが可能になる。

このような背景のもと、本論文では、光格子に閉じ込められた2次元量子気体のイッテルビウム原子について、光格子点を分解する空間分解能で、単一原子を観測することのできる、ハバード領域の量子気体顕微鏡を開発したことを報告している。まず、イッテルビウム原子に特有の線幅の狭い光学遷移を駆使した原子の冷却について、その最適条件を慎重に決定した。これをもとに、高感度かつ高空間分解能で、単一原子からの発光を観測することに成功した。孤立点の発光分布の形状から、空間分解能を定量的に評価し、さらに、格子間隔や格子の傾きなどを決定し、それをもとに、原子の分布を決定することに成功した。2枚の画像を続けて撮像し、その比較をすることで、得られた結果の信頼性を評価することにも成功した。さらに、これまでの破壊的測定法とは異なる、新しい手法である、ファラデー量子気体顕微鏡の開発にも成功した。非共鳴な直線偏光を原子に入射して、単一原子による偏光回転として、約 3° という大きな値を得ることに成功している。また、バックグラウンドがゼロの信号を与える、ダークフィールドファラデーイメージング法による単一原子の信号を得ることに成功し、さらに、単一原子の吸収イメージングにも成功し、単一原子による吸収として、約18%という大きな値を得ることに成功している。

以上の結果は、光格子中の冷却原子という新しい量子多体系に関する重要な発展をもたらすものであると認められる。これらは、世界に先駆けたもので、すでに学術雑誌や国内・国際会議などを通して、国の内外を問わず脚光を浴びている。今後、光・原子物理学、量子情報処理、量子エレクトロニクス、など、多くの研究分野への貢献も多大であり、高く評価できる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年8月4日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、（平成29年8月4日までの間）当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 平成 年 月 日以降